

Недостатки:

- относительно высокая стоимость пиролизных котлов – в среднем, котлы этого типа дороже твердотопливных в 1,5–2 раза;
- довольно высокая чувствительность к содержанию влаги в дровах. При повышении процентного содержания влаги в древесине мощность котла резко снижается;
- большинство пиролизных котлов энергозависимы и требуют подключения к электросети. Правда, энергии котел потребляет очень мало (так как требуется она в основном для вентилятора), так что полностью снабдить пиролизный котел электроэнергией может любой источник альтернативной энергии, генератор или обычная электросеть.

УДК 621.548

Лукьянова К. С., Фазлиахметова М. Ф., Гюнтер Д. А.  
Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ,  
kiss.kris@mail.ru

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ВЕТРОВОГО ПОТОКА В Г. ОРСКЕ**

С каждым годом на бытовые нужды расходуется всё большая доля электроэнергии, в огромных масштабах растёт применение бытовой электрифицированной техники. Одним из способов уменьшения затрат электрической энергии является использование альтернативных источников энергии. Так, в 2008 г. Правительство России задалось целью довести мощность возобновляемых источников энергии к 2020 г. до 4,5 % от общего производства энергии в стране, или 22 ГВт [1]. Согласно Федеральному закону «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ [2], начиная с 1 января 2010 г., государственное (муниципальное) учреждение обязано обеспечить снижение в сопоставимых условиях объема потребленных им воды, дизельного и иного топлива, мазута, природного газа, тепловой энергии, электрической энергии, угля в течение пяти лет не менее чем на пятнадцать процентов от объема фактически потребленного им в 2009 г. каждого из указанных ресурсов с ежегодным снижением такого объема не менее чем на три процента.

Наибольших успехов в мире среди возобновляемых источников энергии достигла ветроэнергетика, которая на сегодняшний день является самой быстроразвивающейся отраслью. Перспективным направлением является применение ветроэнергетической установки (ВЭУ) малой мощности для частичной экономии электроэнергии на нужды индивидуального жилого дома, малого предприятия. Город Орск рассматривается как территория с высоким ветровым потенциалом, благодаря своему расположению в лесостепном поясе страны.

Как известно, данные о скорости ветра, получаемые на метеостанциях, могут характеризовать ветровой режим в некоторой области установки станции, так как характер подстилающей поверхности сильно влияет на скорость и направление ветра. Под влиянием различных факторов природного или техногенного происхождения скорость ветра может как ослабевать, так и усиливаться. Для приведения параметров ветра к открытой местности имеются специальные методики [3], но все они разрабатывались для равнинной территории, орографической зоны Южного Урала дают существенную погрешность. Поэтому наблюдение за ветром (рис. 1) на площадке предполагаемого расположения ВЭУ даст исчерпывающую информацию о характере ветрового потока с учетом местных условий.



Рис. 1. Участок в районе ОЗТП, выделенный прямоугольником, на котором производились экспериментальные измерения скорости ветра

Суммарно было произведено порядка 2000 измерений (8 измерений в сутки). Измеряемой величиной была усредненная за время скорость ветра, а также направление ветра.

По имеющимся данным была построена роза ветров (рис. 2). Как следует из рисунка, преимущественные направления ветра в весенне-летний период фиксировались в западном секторе (от юго-западного до северо-западного направления).

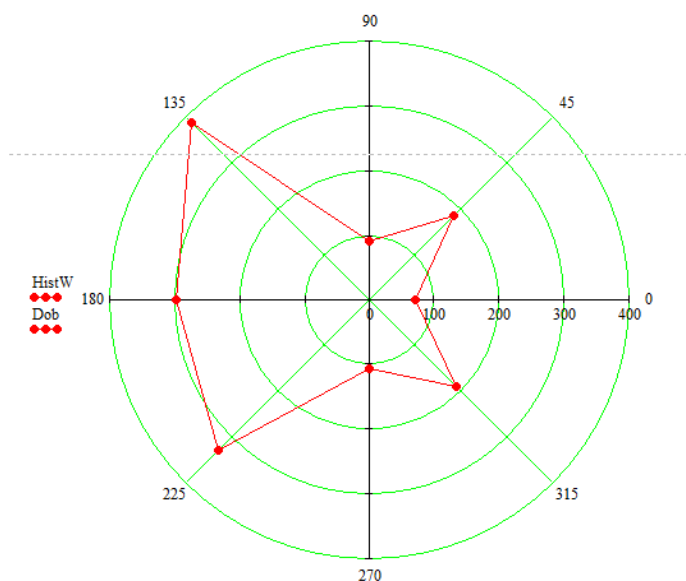


Рис. 2. «Роза ветров» в районе Орского аэропорта

По определению средняя удельная мощность ветрового потока

$$\langle N \rangle = \frac{1}{2} \rho \langle v^3 \rangle. \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что для оценки удельной мощности необходимо знание повторяемости различных скоростей ветра на исследуемом участке, так как в общем случае  $\langle v \rangle^3 \neq \langle v^3 \rangle$ . Поэтому для определения средней кубической скорости ветра  $\langle v^3 \rangle$  необходимо воспользоваться следующей формулой усреднения:

$$\langle v^3 \rangle = \int_0^{\infty} v^3 f(v) dv, \quad (2)$$

где  $f(v)$  – дифференциальная функция вероятности распределения скоростей ветра.

В диссертационной работе [4] было показано, что в качестве функции распределения для аппроксимации статистических данных скоростей ветра корректные результаты дает распределение Вейбулла-Гудрича, которое имеет вид

$$F(v) = 1 - \exp \left( - \lambda \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^{\delta} \right). \quad (3)$$

Здесь  $\lambda$  и  $\delta$  – параметры распределения, которые необходимо определить путем обработки экспериментальных данных.

Исходный массив данных подвергся математической обработке. В качестве теоретической интегральной функции распределения для аппроксимации статистических данных скоростей ветра, как было сказано выше, использовали распределение Вейбулла-Гудрича. Параметры распределения определялись с помощью метода наименьших квадратов (МНК).

$$\lambda = 1,272, \delta = 1,314. \quad (4)$$

Заметим, что полученные числовые значения (4) согласуются в пределах 5 % с данными, приведенными в работе [3], по Оренбургской области. При этом коэффициент корреляции между экспериментальными значениями и аппроксимирующей кривой составил  $r = 0,999$  (рис. 3).

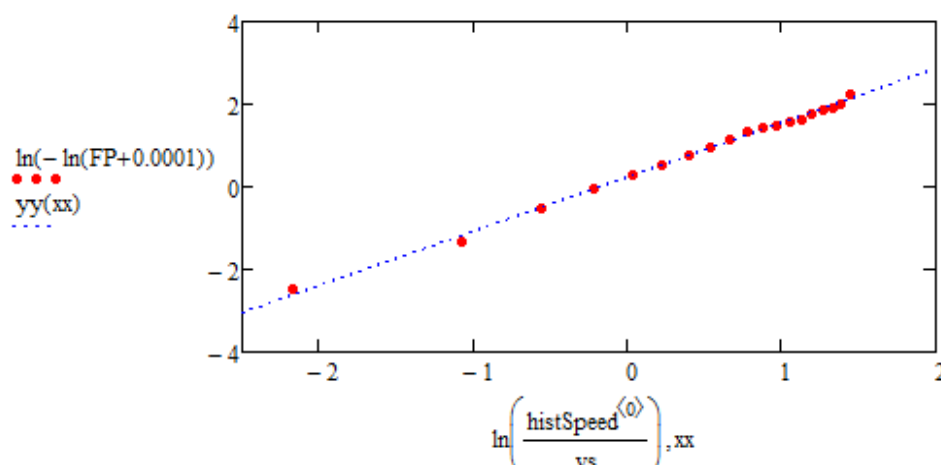


Рис. 3. Точками отмечены экспериментальные значения, пунктирная линия – аппроксимирующая кривая, полученная МНК

Дифференциальный закон распределения скоростей ветра найден по известному соотношению

$$f(v) = \frac{dF(v)}{dv} = \frac{\lambda \delta}{\bar{v}} \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^{\delta-1} \cdot \exp \left( -\lambda \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^{\delta} \right). \quad (5)$$

На рис. 4 (б) приведена гистограмма распределения скоростей ветра по градациям с шагом 1 м/с и вид функции плотности распределения скоростей ветра (5), которая представлена сплошной кривой.

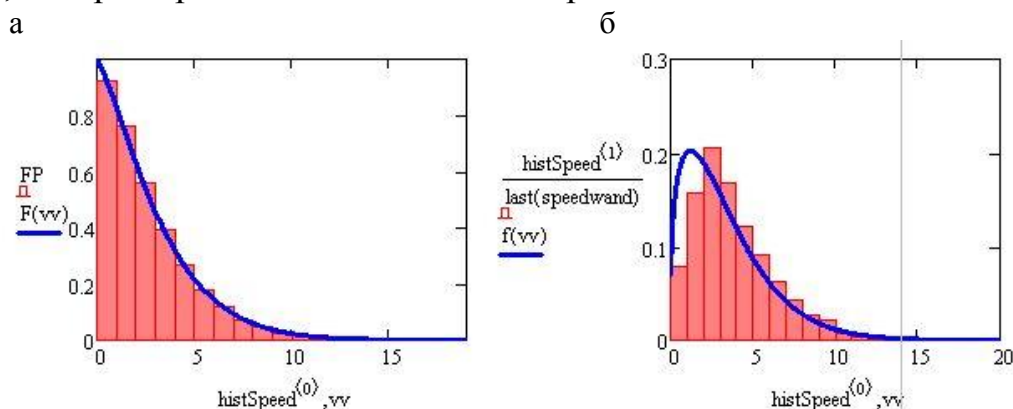


Рис. 4. Сравнение экспериментальных данных (представленных в виде гистограмм) с найденными теоретическими функциями (сплошные кривые)

Как видно из рис. 4 (а), интегральная функция  $(1 - F(v))$  с хорошей точностью описывает имеющиеся экспериментальные данные.

Таким образом, зная дифференциальную функцию распределения (5), можно определить по формуле (2) среднюю кубическую скорость, а также среднюю скорость ветра на рассматриваемом участке:

$$\langle v \rangle = 4,4 \text{ м/с}, \quad \langle v^3 \rangle = 127,6 \text{ м}^3/\text{с}^3. \quad (6)$$

Принимая плотность воздуха равной  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ , удельная мощность ветрового потока по формуле (1) на высоте 12 м будет

$$\langle N \rangle = 77 \text{ Вт/м}^2. \quad (7)$$

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. С помощью экспериментальных данных определена средняя мощность ветрового потока участка, которая составила величину  $77 \text{ Вт/м}^2$  на высоте 12 м.

2. Для моделей ВЭУ малой мощности, с высотой мачты 12 м и радиусом лопастей от 2,5 до 5 м с учетом оценки (7), получаем величину вырабатываемой мощности от 500 до 1500 Вт (с учетом коэффициента использования ветра и КПД установки);

3. Найденная функция плотности распределения скорости ветра позволяет определить повторяемость различных градаций скорости за исследуемый период (таблица).

Повторяемость различных градаций скорости ветра за период весна-осень 2014 г., %

Менее 3 м/с	От 3 м/с до 15 м/с	Более 15 м/с
53	46	1

Можно произвести оценку количества вырабатываемой ВЭУ электроэнергии за год с помощью выражения

$$D = 8,76 \cdot k \langle N \rangle S, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2, \quad (8)$$

где  $k$  – коэффициенты повторяемости скоростей ветра, являющиеся допустимыми для работы ВЭУ;  $\langle N \rangle$  – средняя удельная мощность ветрового потока;  $S$  – площадь ометаемой лопастями поверхности.

Подставляя в формулу (8) найденные нами значения, получим выработку ВЭУ, с радиусом лопастей 3 м, 8773 кВт·ч в год.

4. Ввиду относительной удаленности от города Орска местности с хорошими орографическими показателями и приемлемой удельной мощностью ветрового потока, на данном этапе продолжается сбор экспериментальных данных для обоснования возможности постройки ветропарка.

#### Список литературы

1. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (в ред. от 04.10.2014) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (в ред. от 28.12.2013). [Электронный ресурс]. URL: [http://base.garant.ru/12171109/1/#block\\_100](http://base.garant.ru/12171109/1/#block_100) (дата обращения: 28.10.2014).
2. Рензо Д. Ветроэнергетика / под ред. Я. И. Шефтера. М. : Энергоатомиздат, 1982. С. 4–35.
3. Анапольская Л. Е., Гандин Л. С. Ветроэнергетические ресурсы и методы их оценки // Метеорология и гидрология. 1978. № 7. С. 11–17.
4. Рыхлов А. Б. Климатологическая оценка ветроэнергетического потенциала на различных высотах: на примере юго-востока Европейской территории России: автореферат дис. ... д-ра географ. наук: 25.00.30 / Рыхлов Александр Богданович. Казань, 2012. – 36 с.: ил. РГБ ОД, 9 12-5/2938.

УДК 621.548

Лунегов Г. В., Немков Д. А., Попов А. И.  
Уральский федеральный университет,  
kanductor@gmail.com

## ТЕРМОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ВЕТРОУСТАНОВКА

Известно «золотое правило» ветроэнергетики: при среднегодовой скорости ветровых потоков менее 5 м/с, ветроэнергетические установки (ВЭУ) неэффективны и, как правило, себя не окупают.

На равнинной территории Российской Федерации в большинстве регионов, по данным метеорологических служб, среднегодовая скорость ветра равна 2–4 м/с, поэтому ВЭУ работают эпизодически в короткие отрезки времени, как правило, поздней осенью и зимой.

Повысить стабильность работы и расширить временные отрезки работы ВЭУ можно за счет использования восходящих потоков.

На кафедре «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ запатентована термоэнергетическая установка [1], использующая для получения электрической энергии одновременное воздействие ветровых пото-